

51

Int. Cl. 7

H 01 F 7/20

19 BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

DEUTSCHES



PATENTAMT

Behördeneigentlich

DE 28 02 674 A 1

11

Offenlegungsschrift 28 02 674

21

Aktenzeichen:

P 28 02 674.6-33

22

Anmeldetag:

21. 1. 78

43

Offenlegungstag:

3. 8. 78

30

Unionspriorität:

32 33 31

31. 1. 77 V.St.v.Amerika 764399

54

Bezeichnung:

Spulenanordnung

71

Anmelder:

Litton Systems, Inc., Beverly Hills, Calif. (V.St.A.)

74

Vertreter:

Graf, H., Dipl.-Ing.; Wasmeier, A., Dipl.-Ing.; Pat.-Anwälte,
8400 Regensburg

72

Erfinder:

Williams, Howard Ernest, Reseda, Calif. (V.St.A.)

Prüfungsantrag gem. § 28 b PatG ist gestellt

COPY

DE 28 02 674 A 1

16. Januar 1978

P a t e n t a n s p r ü c h e

1. Spulenordnung, insbesondere zur Verwendung in nuklearen magnetischen Resonanzkreislern, mit einer Halterung, deren äußere Oberfläche eine Rotationsfläche mit elektrischen Leitern aufnehmenden Nuten aufweist, dadurch gekennzeichnet, daß jede Nut (14) eines Satzes solcher Nuten eine Ebene einnimmt, die radial in bezug auf die Rotationsachse orientiert ist, und daß andere Nuten (16A, 16B), die mindestens einen getrennten elektrischen Leiter aufnehmen, wenigstens eine axial orientierte Ebene einnehmen, wodurch mindestens zwei getrennte Spulen entstehen, die bei Erregung mindestens zwei aufeinander senkrecht stehende magnetische Felder aufbauen.
2. Spulenordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Rotationsoberfläche eine zylindrische Oberfläche ist.
3. Spulenordnung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Halterung (12) hohle, kreisförmig zylindrische Gestalt besitzt, und daß die Nuten (14), die radial orientierte Ebenen einnehmen, in ihrer Gestalt kreisförmig sind.
4. Spulenordnung nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Nuten (16A, 16B) axial orientierte Ebenen einnehmen, die längs Erzeugender der zylindrischen Oberfläche verlaufen.
5. Spulenordnung nach einem der Ansprüche 1-4, dadurch gekennzeichnet, daß ein elektrischer Leiter (22), der in radial orientierte Ebenen einnehmenden Nuten (14) aufgenommen ist, eine Vielzahl von vollständigen Windungen (30, 32, 34) bildet, wobei jede Windung innerhalb einer getrennten radialen Ebene liegt und jedes Paar benachbarter Windungen miteinander durch ein kurzes Stück (28, 32) des Leiters verbunden ist, der innerhalb eines kurzen Stückes einer Nut (16A) aufgenommen

809831/0721

ORIGINAL INSPECTED

COPY

ist, die eine axial orientierte Ebene einnimmt.

6. Spulenordnung nach einem der Ansprüche 1-5, dadurch gekennzeichnet, daß ein elektrischer Leiter, der in Nuten (16B) aufgenommen ist, welche axial orientierte Ebenen einnehmen, eine Spule bildet, indem er sich durch eine Nut (16B-2 oder 16B-4) in einer axialen Richtung erstreckt und sich durch eine andere Nut (16B-10 oder 16B-8) in entgegengesetzter axialer Richtung fortsetzt.
7. Spulenordnung nach Anspruch 6, gekennzeichnet durch ein Paar parallel orientierter Spulen, deren jede durch einen Leiter gebildet ist, der sich durch axiale Nuten (16B-2, 16B-10 und 16B-4, 16B-8) auf symmetrisch entgegengesetzten Seiten der Halterung (12) erstreckt.
8. Spulenordnung nach Anspruch 6 oder 7, gekennzeichnet durch zwei Spulen, deren jede eine von zwei axialen Ebenen einnimmt und deren jede durch einen elektrischen Leiter gebildet ist, der in Nuten aufgenommen wird, welche eine axial orientierte Ebene einnehmen, die senkrecht in bezug auf die Ebene der anderen Spule orientiert ist.
9. Spulenordnung nach einem der Ansprüche 1-8, dadurch gekennzeichnet, daß die elektrischen Leiter Drähte sind.
10. Spulenordnung nach einem der Ansprüche 1-9, dadurch gekennzeichnet, daß die Tiefe der Nuten (14), die radial orientierte Ebenen einnehmen, unterschiedlich von der Tiefe der Nuten (16A, 16B) ist, die axial orientierte Ebenen einnehmen.
11. Spulenordnung nach einem der Ansprüche 1-10, dadurch gekennzeichnet, daß die Halterung (12) aus transparentem Material besteht.
12. Spulenordnung nach einem der Ansprüche 1-11, gekennzeichnet durch eine nukleare magnetische Resonanzzelle (18) innerhalb

2802674

- 3 -

der Spulenordnung.

809831/0721

PATENTANWÄLTE

2802674

Dipl.-Ing. A. Wasmier

4

Dipl.-Ing. H. Graf

Patentanwälte Postfach 382 8400 Regensburg 1

An das
Deutsche Patentamt
8000 München 2

D-8400 REGENSBURG 1
GREFLINGER STRASSE 7
Telefon (09 41) 5 47.53
Telegramm Begpatent Rgb.
Telex 6 5709 repat d

Ihr Zeichen
Your Ref.

Ihre Nachricht
Your Letter

Unser Zeichen
Our Ref.

Tag
Date

L/p 9249

16. Januar 1978
W/Ja

Anmelder: Litton Systems, Inc.,
360 North Crescent Drive
Beverly Hills, California 90210, USA

Erfinder: Howard Ernest Williams, Ingenieur
8110-d Canby Avenue
Reseda, California 91335, USA

Priorität: USA
Nr. 764 399
vom 31. Januar 1977

Titel: Spulenordnung

809831/0721

Konten: Bayerische Vereinsbank (BLZ 750 200 73) 5 839 300
Postscheck München 893 69 - 801

Gerichtsstand Regensburg

5 - 4 -

Die Erfindung bezieht sich auf Spulenanordnungen, insbesondere auf Anordnungen zur Erzielung getrennter Spulen auf einem gemeinsamen Aufbau und zur Erzeugung von magnetischen Feldern, die in rechten Winkeln zueinander orientiert sind.

Als Aufbauten zur Halterung von Spulen sind viele unterschiedliche Anordnungen für Induktivitäten und für Wandler bekannt, bei denen das von einer Spule erzeugte magnetische Feld in die andere Spule gekoppelt wird. Im Falle von Spulenanordnungen, bei denen eine direkte Kopplung der magnetischen Felder in erheblichem Maße nicht auftritt, und bei denen eine exakte Orientierung der magnetischen Felder erforderlich ist, ist jedoch kaum Entwicklungsarbeit geleistet worden.

Aufgabe vorliegender Erfindung ist es deshalb, Spulenanordnungen zu schaffen, bei denen genau orientierte magnetische Felder in wenigstens zwei zueinander senkrechten Richtung aufgebaut werden.

Dies wird gemäß der Erfindung dadurch erreicht, daß eine die Halterung für die Spulen darstellende Spulenform verwendet wird, die eine zylindrische Gestalt oder eine andere Rotationsfläche mit einer Längsachse sowie mit peripheren, d.h. kreisförmigen Nuten, die radiale Ebenen einnehmen, als auch axialen Nuten, die sich längs Erzeugender der Spulenform erstrecken, besitzt. Eine starke magnetische Kopplung durch den Aufbau eines axialen magnetischen Feldes wird durch in den kreisförmigen Nuten/^{gewickelte Drähte} erzielt, und ein querorientiertes magnetisches Feld zur Kopplung mit dem Bereich innerhalb der Spulenform wird durch Spulen erzielt, die Drähte aufweisen, welche darin aufgenommen sind und nach unten und hinten in den in Längsrichtung, d.h. axial verlaufenden Nuten in der Spulenform geführt sind. Bei einer Anwendung für ein nukleares, magnetisches Resonanzgyroskop sind beispielsweise auf magnetische Felder ansprechende Materialien, z.B. eine nukleare, magnetische Resonanzgasprobe, innerhalb der Spule angeordnet. In diesem Fall werden zwei zueinander senkrecht stehende magnetische Felder durch ein Paar von Spulen aufgebaut, deren jede Drähte besitzt, die längs der axialen

809831/0721

Nuten in der Spulenform verlaufen, und die dann transparent sein können, so daß Material innerhalb der Spulenform direkt durchstrahlt werden kann, indem Beleuchtung oder dgl. durch die Spulenform geschickt wird. Die resultierenden Kupplungsanordnungen ergeben eine Kopplung längs dreier aufeinander senkrecht stehender Richtungen, von denen eine die der Achse der Spule ist.

Mit vorliegender Erfindung wird bei einer Spulenordnung, insbesondere zur Verwendung in nuklearen magnetischen Resonanzkreislern, mit einer Halterung, deren äußere Oberfläche eine Rotationsfläche mit elektrische Leiter aufnehmenden Nuten aufweist, vorgeschlagen, daß jede Nut eines Satzes solcher Nuten eine Ebene einnimmt, die radial in bezug auf die Rotationsachse orientiert ist, und daß andere Nuten, die mindestens einen getrennten elektrischen Leiter aufnehmen, wenigstens eine axial orientierte Ebene einnehmen, wodurch mindestens zwei getrennte Spulen entstehen, die bei Erregung mindestens zwei aufeinander senkrecht stehende magnetische Felder aufbauen.

Bei einer speziellen Ausführungsform der Erfindung ist die Rotationsoberfläche eine zylindrische Oberfläche. Die Halterung kann eine hohle, kreisförmig zylindrische Gestalt besitzen, und die Nuten, die radial orientierte Ebenen einnehmen, können in ihrer Gestalt kreisförmig sein, während die Nuten axial orientierte Ebenen einnehmen, die längs Erzeugender der zylindrischen Oberfläche verlaufen.

In weiterer Ausgestaltung der Erfindung wird vorgeschlagen, daß ein elektrischer Leiter, der in radial orientierte Ebenen einnehmenden Nuten aufgenommen ist, eine Vielzahl von vollständigen Windungen bildet, wobei jede Windung innerhalb einer getrennten radialen Ebene liegt und jedes Paar benachbarter Windungen miteinander durch ein kurzes Stück des Leiters verbunden ist, der innerhalb eines kurzen Stückes einer Nut aufgenommen ist, die eine axial orientierte Ebene einnimmt. Ferner bildet ein elektrischer Leiter, der in Nuten aufgenommen ist, welche axial

7 - 8 -

orientierte Ebenen einnehmen, eine Spule, in dem er sich durch eine Nut in der einen axialen Richtung erstreckt und sich durch eine andere Nut in der entgegengesetzten axialen Richtung fortsetzt. Auf diese Weise können ein Paar parallel orientierter Spulen verwendet werden, deren jede durch einen Leiter gebildet ist, der ^{sich} durch axiale Nuten auf symmetrisch entgegengesetzten Seiten der Halterung erstreckt. Insbesondere zur Erzielung zweier getrennter, senkrecht zueinander verlaufender magnetischer Querfelder können zwei Spulen verwendet werden, deren jede eine von zwei axialen Ebenen einnimmt und deren jede durch einen elektrischen Leiter gebildet ist, der in Nuten aufgenommen wird, welche eine axial orientierte Ebene einnehmen, die senkrecht in bezug auf die Ebene der anderen Spule orientiert ist.

In der Praxis sind die elektrischen Leiter üblicherweise Drähte. Zur Verhinderung einer Interferenz zwischen den getrennten Spulen wird vorzugsweise die Tiefe der Nuten, die radial orientierte Ebenen einnehmen, verschieden von der Tiefe der Nuten gewählt, die axial orientierte Ebenen einnehmen.

Bei einer Anwendung in nuklearen magnetischen Resonanzkreisen besteht die Spulenhalterung zweckmäßigerweise aus transparentem Material, und es ist eine nukleare magnetische Resonanzzelle innerhalb der Spulenanordnung befestigt und wird durch den transparenten Aufbau bestrahlt.

Es wird somit eine sehr exakte Feldorientierung längs der Achse der Spulenform, nämlich der Halterung durch Verwendung von elektrischen Leitern in Nuten erzielt, die zweckmäßigerweise kreisförmige Gestalt haben und Ebenen einnehmen, welche senkrecht zur Achse der Spulenform orientiert sind, wobei die Verbindung zwischen benachbarten Windungen der Spule dadurch erreicht wird, daß der Stromleiter, üblicherweise ein Draht, längs einer der axialen Nuten in dem kurzen Abstand zwischen benachbarten Windungen der Spule geführt wird.

Nachstehend wird die Erfindung in Verbindung mit der Zeichnung

809831/0729

8-7-

anhand eines Ausführungsbeispieles erläutert. Es zeigen:

- Fig. 1 eine Seitenansicht einer Ausführungsform einer Spulen-
anordnung gemäß der Erfindung,
- Fig. 2 eine Endansicht der Spulenform nach Fig. 1 mit einer
Beleuchtungsquelle und einer nuklearen magnetischen
Resonanzzelle,
- Fig. 3, 4 und 5 Detail-Querschnittsansichten der Formen der
radialen und axialen Nuten in den äußeren Oberfläche
der Spulenform, nämlich dem Träger für die Spulen,
- Fig. 6 eine weitere Detailansicht, aus der die Verbindung einer
Windung der radialen Spule mit der unmittelbar benach-
barten Windung hervorgeht, und
- Fig. 7 ein Diagramm, das bei der Analyse des magnetischen Quer-
feldes verwendet wird.

Figur 1 zeigt eine Spulenform, die die Halterung 12 darstellt, welche bei einer Ausführungsform der Erfindung eine Länge von 25 cm und einen Außendurchmesser von 10 cm besitzt. Diese Spulenform ist als Hohlzylinder ausgebildet, dessen Wanddicke etwa 3,75 mm beträgt.

Die äußere Oberfläche der zylindrischen Form oder Halterung 12 ist mit einer großen Anzahl von radial verlaufende Ebenen ein-
nehmenden kreisförmigen Nuten 14 und ^{zwölf} axial verlaufenden Nuten 16A und 16B längs Erzeugender des Zylinders versehen. Diese radialen und axialen Nuten besitzen feine isolierte elektrische Leiter, zweckmäßigerweise Drähte, die in ihnen gewickelt sind und die bei Erregung magnetische Felder aufbauen, welche coaxial mit der Halterungsachse und quer dazu orientiert sind, wie im einzelnen weiter unten erläutert wird.

Figur 2 ist eine Endansicht der Spulenhalterung 12 in schematischer Form und zeigt eine auf magnetische Felder ansprechende Zelle 18 sowie eine Strahlungsquelle 20, welche Beleuchtung oder Licht entsprechend den Pfeilen 42 durch die Spulenhalterung 12,

9-8-

wenn diese transparent ist, und auf die Zelle 18 richtet.

Es wird bezug auf die US-Patentanmeldung Nr. 714 978 vom 14.8.1976 genommen. Die in vorliegender Anmeldung angegebene Spulenform kann in einer Einrichtung, wie sie in obiger Anmeldung offenbart ist, verwendet werden, um eine Kopplung mit der nuklearen magnetischen Resonanzzelle 18 nach Fig. 2 zu erzielen, beispielsweise durch Anlegen magnetischer Felder an die Zelle 18. Wie vorstehend erwähnt, sind zwölf axiale Nuten 16A und 16B um den Umfang der Halterung 12 herum versetzt angeordnet. In Verbindung mit den Figuren 4 und 5 ergibt sich, daß die vier Nuten 16A verhältnismäßig breit sind, während die acht Nuten 16B-1, 16B-2, 16B-4, 16B-5, 16B-7, 16B-8, 16B-10 und 16B-11 etwas schmaler sind. Aus Fig. 2 ergibt sich, daß die zwölf Nuten um den Umfang der Spulenhalterung in Positionen versetzt angeordnet sind, die ähnlich den Einteilungen eines Ziffernblattes sind. Verwendet man diese Analogie, ergibt sich, daß die breiteren Nuten 16A in den 3, 6, 9 und 12 Uhr entsprechenden Positionen vorgesehen sind, während die schmaleren Nuten 16B in Positionen auf der Spulenhalterung erscheinen und mit Zusatzbezeichnungen versehen sind, die den Stundenpositionen 1, 2, 4, 5, 7, 8, 10 und 11 eines Ziffernblattes entsprechen.

Figur 3 ist eine Schnitt-Detailansicht der Konfiguration der Umfangs- d.h. radialen Nuten 14, die sich um die Spulenhalterung 12 erstrecken. Wie vorstehend erwähnt, hat die Spulenhalterung 12 eine Dicke von etwa 3,75 mm. Die Nuten 14 können dann eine Tiefe von etwa 0,30 mm sowie etwa die gleiche Breite haben. In den Nuten 14 sind feine Kupferdrähte 22 mit einem Durchmesser von 2,5 mm angeordnet, die eine Isolierschicht mit einer Dicke von etwa 0,0125 mm besitzen. Damit beträgt der Gesamtdurchmesser der isolierten Kupferdrähte 22 etwa 0,275 mm.

Die Figuren 4 und 5 zeigen Schnittansichten durch einer der axialen Nuten 16B und eine der axialen Nuten 16A. Jede der axialen Nuten 16A und 16B hat eine Tiefe von etwa 0,45 mm. Die

809831/0721

10 - B -

Nuten 16B, die in Figur 4 gezeigt sind, sind verhältnismäßig schmal und haben beispielsweise eine Breite von nur 0,30mm, während die Nuten 16A nach Figur 5 breiter sind und eine Breite von etwa 0,75 mm besitzen. Die Tiefe der Nuten 16A und 16B ist wesentlich größer als die der radialen Nuten 14. Damit können zuerst die Drähte in die Nuten 16A und 16B eingesetzt werden und es kann dann die Spule des Drahtes 22 in den radialen, kreisförmigen Nuten 14 gewickelt werden, ohne daß die Drähte aufgrund eines zu starken Hervorstehens der anfangs gewickelten Drähte in den Nuten 16A und 16B beschädigt werden oder stören.

Zur Anwendung in nuklearen magnetischen Resonanzgyroskopen ist es erwünscht, verhältnismäßig schwache magnetische Felder zu erhalten, die senkrecht zur Achse der Spulenhalterung 12 orientiert sind. Um ein schwaches Magnetfeld zu erzeugen, das der Zelle 18 (Fig. 2) aufgegeben wird, welche senkrecht zur Achse der Halterung 12 orientiert ist, wird eine erste Spule unter Verwendung eines Drahtes ausgebildet, der längs einer Longitudinalen, d.h. axialen Nut 16B-2 und zurück längs einer Longitudinalen, d.h. axialen Nut 16B-10 verläuft. Die Nut 16B-2 ist eine schmale axiale Nut nach Art der Nut 16B, die an der Position der Ziffer 2 (in Analogie mit einem Ziffernblatt) angeordnet ist. In ähnlicher Weise ist die Nut 16B-10 eine schmale axiale Nut nach Art der Nut 16B, die an der Stundenposition 10 angeordnet ist. Eine zweite Spule, die durch Drähte in den Nuten 16B-4 und 16B-8 ausgebildet ist, erzeugt ein Magnetfeld, das das Magnetfeld der erstgenannten Spule von Drähten in den Nuten 16B-2 und 16B-10 verstärkt. Wenn ein Magnetfeld vertikal in der Darstellung nach Fig. 2 aufgegeben werden soll, werden die oberen und unteren Spulen, wie vorstehend erwähnt, erregt, damit verstärkende magnetische Felder an den Mitten der Spulenhalterung 12 und damit in der Nähe der Zelle 18 erzeugt werden. Damit eine Stromkreiskontinuität erzielt wird, werden zugeordnete Paare von axialen Längen von Drähten in den Nuten 16B durch Umfangsbögen von Drahtlängen miteinander verbunden.

11 - 10 -

Ein weiteres Paar von Spulen, einschließlich einer ersten Spule von Drähten innerhalb der Nuten 16B-7 und 16B-11 dient zusammen mit peripheren Umfangsnutzwischenverbindungen, und einschließlich einer zweiten Spule von Drähten, die längs der axialen Nuten 16B-1 und 16B-5 verlaufen, zum Aufbau eines Magnetfeldes längs der Horizontalen in der Darstellung nach Fig. 2. Damit ergibt die vorbeschriebene Anordnung ein verhältnismäßig starkes magnetisches Feld längs der Achse der Spulenhalterung 12 und zwei verhältnismäßig schwache Kopplungsanordnungen, wodurch drei aufeinander senkrecht stehende Magnetfelder oder Magnetfeldkopplungsschaltungen entstehen.

Figur 6 ist eine detaillierte Darstellung einer der axialen Nuten 16A, wo sie eine Reihe von radialen Nuten 14 kreuzt. Bei dieser vereinfachten Darstellung nach Fig. 6 ist die Orientierung der Nuten 14 klar gezeigt, da sie radial verlaufende Ebenen einnehmen. Anstelle spiralförmiger Nuten, die einen kontinuierlichen Übergang von einer Windung in die nächstbenachbarte Windung ohne eine festgelegte Übergangsstelle ergeben, zeigt die Anordnung der dargestellten Ausführungsform der Erfindung, daß die Nuten 14 echt kreisförmig sind, da sie in genau radialen Ebenen liegen und Paare von benachbarten Windungen miteinander durch kurze Drahtlängen, die in der Nut 16A aufgenommen sind, verbunden sind. Insbesondere ist die isolierte Kupferdrahtwindung 26 zweimal an der Stelle 28 gebogen und setzt sich zur nächstbenachbarten radialen Nut als die Windung 30 des Drahtes fort. In ähnlicher Weise macht die Windung 30 nach nahezu einem vollständigen Kreis um die Halterung 12 in einer der Nuten 14 eine doppelte Biegung an der Stelle 32 und setzt sich als Windung 34 in der nächstbenachbarten radialen Nut 14 fort.

Desweiteren wird darauf hingewiesen, daß die verschiedenen Verbindungs-längen an den Stellen 28, 32 usw. in der breiten Nut 16A eine axiale Stromkomponente haben, die, wenn sie nicht aufgehoben wird, eine unerwünschte Querkomponente des magnetischen Feldes innerhalb der Spulenhalterung 12 erzeugt. Vor oder nach dem Wickeln der Spule wird deshalb durch Einbringen von Draht

809831/0721

12- 11 -

in die Nuten 14 eine zusätzliche Drahtlänge für den Stromfluß in der entgegengesetzten Richtung in der vollen Länge der breiten Nut 16A nach Fig. 6 gelegt, wodurch eine exakte Aufhebung des magnetischen Feldes erzielt wird, das durch kurze Zwischenverbindungs-Drahtlängen an den Stellen 28, 32 usw. erzeugt wird.

Figur 7 zeigt ein Diagramm, das zur Analyse des Magnetfeldes verwendet wird, welches durch Spulen erzeugt wird, die aus axialen Drähten bestehen, beispielsweise denen, die in den Nuten 16B angeordnet sind. Insbesondere ist in Fig. 4 eine Vierleiterkonfiguration betrachtet, und das resultierende magnetische Feld wird auf Gleichförmigkeit an der Ursprungsstelle 0 analysiert, die der Mitte der Spulenhaltung 12 entspricht. In Figur 7 sind die beiden oberen Stromleiter so dargestellt, daß sie Strom in einer Richtung führen, wie durch die Plus-Vorzeichen angezeigt ist, und die beiden unteren Leiter führen den Strom in der entgegengesetzten Richtung, wie durch die Minus-Vorzeichen angezeigt ist. Dies entspricht der vorbeschriebenen Anordnung zur Erzeugung eines horizontalen Magnetfeldes, unter Verwendung einer Spule einschließlich Drähten in den Nuten 16B-7 und 16B-11, sowie einer weiteren Spule einschließlich Drähten in den Nuten 16B-1 und 16B-5. Mathematisch ausgedrückt stellt sich dies wie folgt dar:

$$\begin{array}{ll} I_1 (+) & \text{bei } (a, b) \\ I_2 (+) & \text{bei } (-a, b) \\ I_3 (-) & \text{bei } (-a, -b) \\ I_4 (-) & \text{bei } (a, -b) \end{array} \quad (1)$$

Betrachtet man nunmehr das magnetische Feld an einer Stelle x, wird längs der X-Achse der folgende Ausdruck erhalten:

$$\sum H_x = 2I \left[\frac{(y-b)}{(x-a)^2 + (y-b)^2} + \frac{(y-b)}{(x+a)^2 + (y-b)^2} - \right] \quad (2)$$

13 - 12 -

$$\left[- \frac{(y+b)}{(x+a)^2 + (y+b)^2} - \frac{(y+b)}{(x-a)^2 + (y+b)^2} \right]$$

Da grundsätzlich Interesse an dem Magnetfeld durch die Mitte der beiden geformten Spulen besteht, wird $y = 0$ gemacht und damit das Interesse auf die X-Achse gerichtet. Setzt man $y = 0$, wird der Ausdruck (2)

$$\sum H_x(x, 0) = 4Ib \left[\left((x-a)^2 + b^2 \right)^{-1} + \left((x+a)^2 + b^2 \right)^{-1} \right] \quad (3)$$

Nimmt man die zweite Ableitung des magnetischen Feldes H_x in bezug auf x , setzt dann $x = 0$, um anzuzeigen, daß prinzipiell der Fall interessiert, bei dem die zweite Ableitung oder die Neigungsänderung 0 ist, und löst dann diese Gleichung, ergibt sich die Beziehung zwischen b und a wie folgt:

$$b = \sqrt{3} a \quad (4)$$

Die mit (4) angegebene Beziehung definiert einen 30° -Winkel, dies ist die Beziehung der Spulen, die in axialer Richtung in den Nuten 16B-7 und 16B-11 verlaufen, zusammen mit der Spule, die in einer Richtung längs der Nut 16B-1 und in der entgegengesetzten Richtung längs der Nut 16B-5 verläuft. Diese radialen Nuten und die in ihnen angeordneten Spulen sind deshalb so ausgelegt, daß sie ein Magnetfeld ergeben, in welchem nicht nur die Neigung des magnetischen Feldes längs der Richtung des magnetischen Feldes Null ist, sondern die zweite Ableitung oder der Wendepunkt der Magnetfeldcharakteristik ebenfalls gleich Null ist. Somit sind die Spulen optimal angeordnet.

Die vorbeschriebene Ausführungsform ist eindeutig in der Lage, ein starkes axiales Magnetfeld wie auch zueinander senkrechte

809831/0721

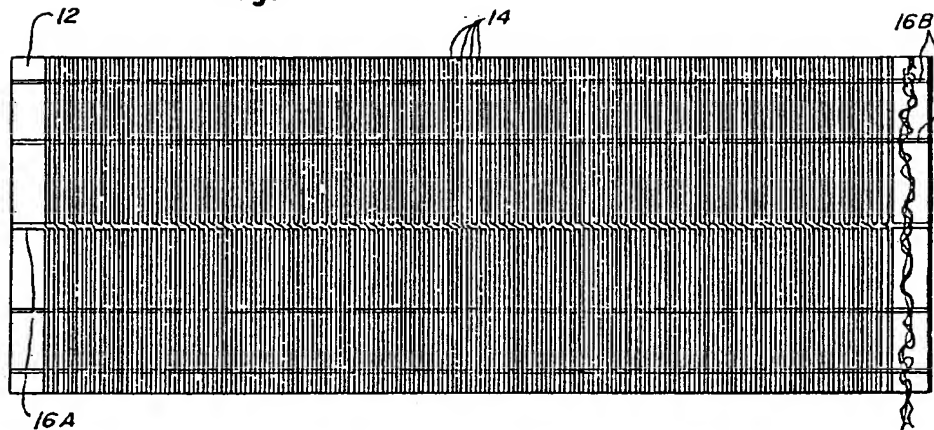
schwächere Magnetfelder aufzubauen. Es können jedoch im Rahmen vorliegender Erfindung auch Abweichungen von der exakten Konstruktion angewendet werden. Beispielsweise kann, anstatt die axialen Nuten tiefer als die radialen Nuten zu machen, das Umgekehrte gewählt werden, und es wird nach wie vor eine schädliche Beeinflussung zwischen den Wicklungen vermieden. Ferner kann anstelle einer zylindrischen Form ein Paar von angepaßten Konussen oder ein Sphäroid oder eine Kugel verwendet werden. Andere einfache Rotationskörper mit einer äußeren genuteten Oberfläche können ebenfalls Anwendung finden. Desweiteren können die Nuten für die Querfeldspulen gekrümmt sein, anstatt daß sie in radialer Richtung verlaufen, falls dies erwünscht ist. Es kann auch eine kleinere Anzahl von radialen Nuten verwendet werden. Beispielsweise können bei nur vier Nuten alle diese vier Nuten für die schwachen vertikalen und die schwachen horizontalen Felder in diesen Nuten angeordnet sein, und die Übergangssegmente, d.h. die Zwischenverbindungslängen an den Stellen 28, 32 usw. können auch in einer von diesen angeordnet sein.

-15-
Leerseite

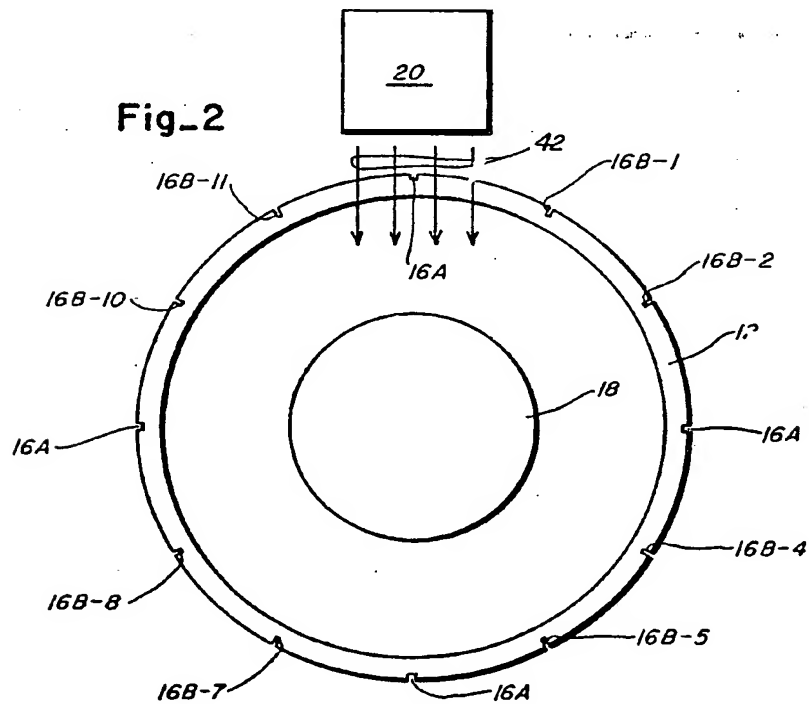
-17-
2802674

Nummer: 28 02 674
Int. Cl.²: H 01 F 7/20
Anmeldetag: 21. Januar 1978
Offenlegungstag: 3. August 1978

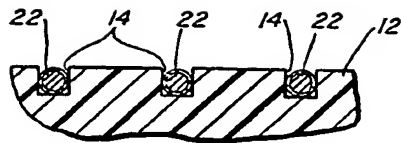
Fig_1



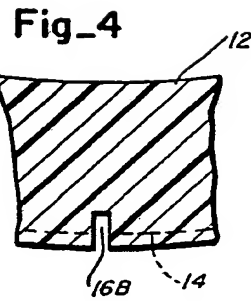
Fig_2



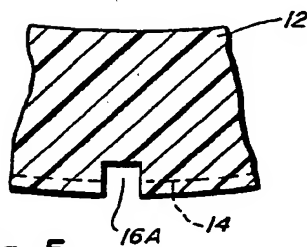
809831/0721



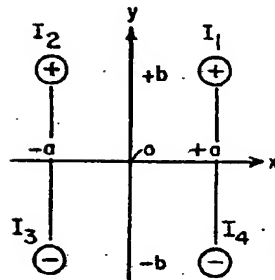
Fig_3



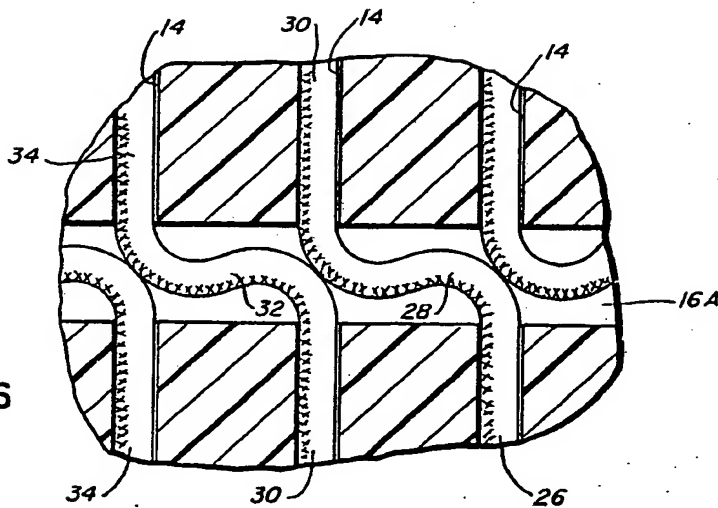
Fig_4



Fig_5



Fig_7



Fig_6